



## MONIDIAM : Moniteur diamant de grande surface pour le contrôle en ligne de l'hadronthérapie

S. Alizadeh, A. Bes, A. Boukhémiri, J. Collot, D. Dauvergne, M.L.  
Gallin-Martel, L. Gallin-Martel, J.Y. Hostachy, A. Mostafa, J.F. Muraz, et al.

### ► To cite this version:

S. Alizadeh, A. Bes, A. Boukhémiri, J. Collot, D. Dauvergne, et al.. MONIDIAM : Moniteur diamant de grande surface pour le contrôle en ligne de l'hadronthérapie. Forum de la recherche en cancérologie Rhône-Alpes Auvergne, Mar 2016, Villeurbanne, France. <hal-01297507>

**HAL Id: hal-01297507**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01297507>**

Submitted on 6 Apr 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Alizadeh Sina, Bes Alexandre, Boukhémiri Anissa, Collot Johann, Dauvergne Denis, Gallin-Martel Marie-Laure, Gallin-Martel Laurent, Hostachy Jean-Yves, Mostafa Ali, Muraz Jean-François, Rarbi Fatah, Sarrat Adrien, Yamouni Mahfoud, LPSC, UMR 5821, Grenoble

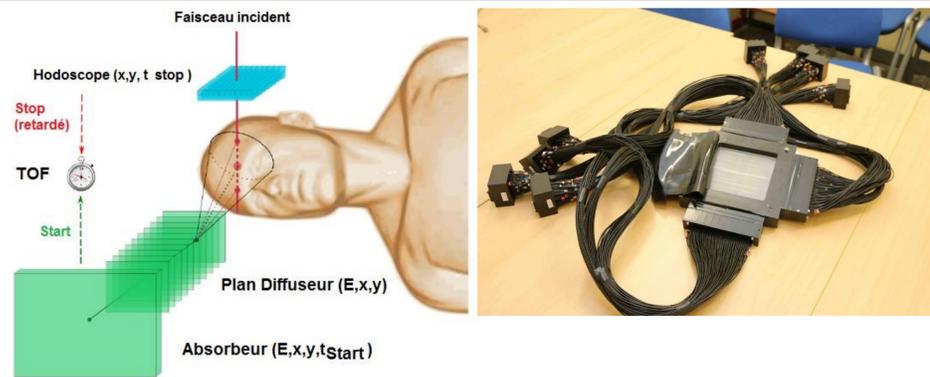
Collaboration CLaRyS: IPN Lyon, LPSC Grenoble, LPC Clermont, CPPM Marseille, CREATIS Lyon, LIRIS Lyon  
Avec le soutien de France Hadron et du LabEx PRIMES

## Objectif et problématique

L'objectif du projet MoniDiam, initié grâce à l'appel d'offre ONCOSTARTER 2014 du CLARA, est d'effectuer les études préliminaires nécessaires à la mise au point d'un système de monitoring en ligne de l'hadronthérapie, à l'aide de détecteurs diamant minces et de grande surface.

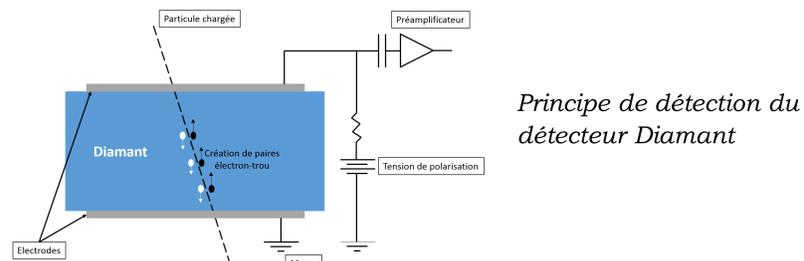
Ce système doit répondre à la problématique d'un étiquetage temporel des ions ou paquets d'ions dans le cadre de l'hadronthérapie. Cet étiquetage est nécessaire pour un contrôle qualité basé sur la détection des rayonnements secondaires (gamma prompts, protons secondaires).

Les détecteurs diamant CVD (Chemical Vapor Deposition), mono- ou poly-cristallins, présentent un certain nombre d'atouts pour répondre à ces problématiques : un numéro atomique faible et similaire à celui des tissus vivants, ils sont radiorésistants, leurs propriétés électroniques (conductivité thermique, grand gap électronique, mobilité des charges importante et faible capacité) en font des détecteurs très rapides et à bas bruit à température ambiante. Cependant, seuls les diamants polycristallins sont disponibles avec de grandes surfaces nécessaires à cette application.



Principe du contrôle en ligne de l'hadronthérapie par gamma prompts (caméra Compton, à gauche). Hodoscope à fibres scintillantes (droite).

## Le diamant et principe de détection



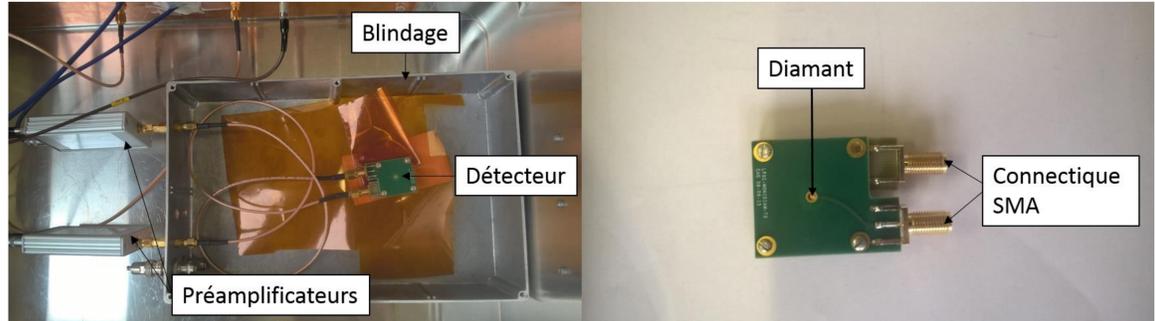
Principe de détection du détecteur Diamant

Une source radioactive  $^{233}\text{U}$  (ou  $^{241}\text{Am}$ ) émet des particules alpha déposant leur énergie dans le diamant sur une profondeur de 10-15  $\mu\text{m}$  pour une énergie moyenne de 4,9 MeV (resp. 5,5 MeV), ce qui permet d'étudier l'efficacité et le temps de collection des porteurs de charge (électrons et trous). Les diamants utilisés ont une épaisseur de 500 $\mu\text{m}$ . L'efficacité de collection des charges dépend principalement de la qualité du diamant et du champ électrique appliqué.

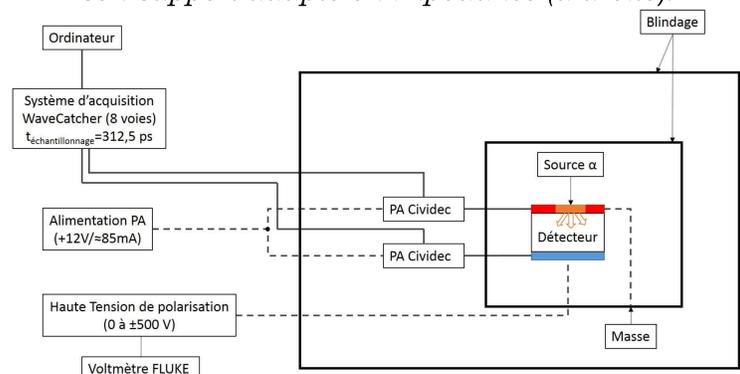
Propriété	Diamant	Silicium	Meilleur
Densité [g.cm <sup>-3</sup> ]	3,52	2,33	/
Gap [eV]	5,48	1,12	/
Énergie de création e-t [eV]	13,1	3,62	Silicium
Signal moyen (MIP)	36e-/μm	89e-/μm	Silicium
Résistivité [Ω.cm]	10 <sup>13</sup> -10 <sup>16</sup>	10 <sup>5</sup> -10 <sup>6</sup>	Diamant
Conductivité thermique [W.cm <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	>1800	1,48	Diamant
Énergie de déplacement [eV]	43	25	Diamant
Mobilité des électrons [cm <sup>2</sup> .V <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> ]	1900	1450	Diamant
Mobilité des trous [cm <sup>2</sup> .V <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> ]	2300	505	Diamant
Tension de saturation [V.cm <sup>-1</sup> ]	10 <sup>7</sup>	3.10 <sup>5</sup>	Diamant

Récapitulatif de quelques propriétés caractéristiques du diamant, comparées avec celles du silicium (pour les mobilités, valeurs à 300K).

## Dispositif expérimental (banc de test)

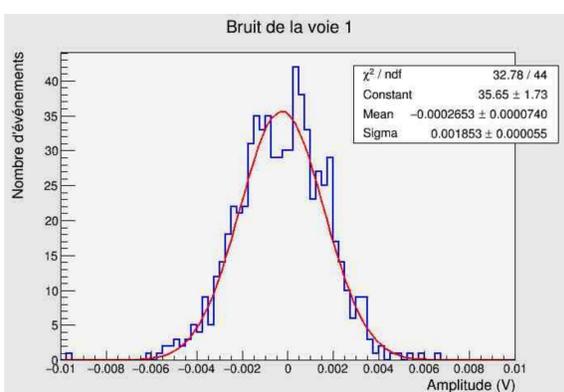


Photos du dispositif de détection (à gauche), et gros plan sur un détecteur diamant et son support adapté en impédance (à droite).

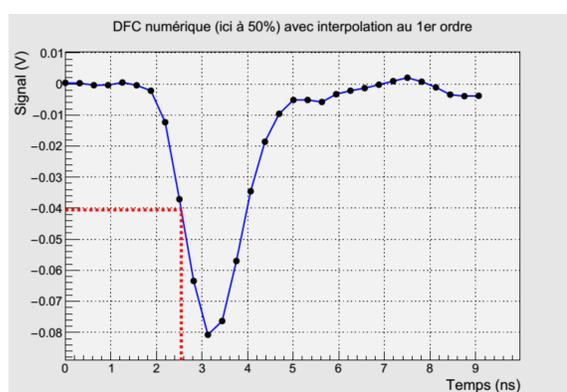


Synoptique du dispositif expérimental

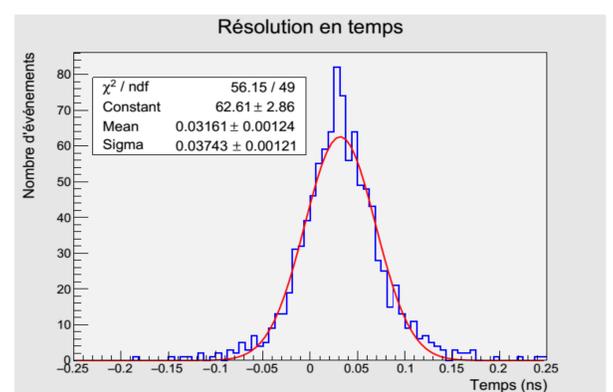
## Quelques résultats préliminaires (tension de polarisation : +500V)



Amplitude du signal : jusqu'à -150 mV  
Bruit électronique : ~ 2 mV RMS



Estimation de la résolution temporelle entre les deux voies par une interpolation linéaire



Résolution temporelle entre les deux voies : ~ 40 ps

## Bilan - Perspectives

Le projet a permis de mettre en place un banc de test en laboratoire, afin de définir les caractéristiques nécessaires pour une application clinique. La qualité des diamants CVD disponibles actuellement n'est pas encore optimale pour une utilisation directe, et le transfert vers des applications cliniques requiert encore des développements amont, notamment la réalisation d'une électronique de lecture multi-voies intégrée, qui seront soutenus par les laboratoires partenaires dans les années à venir, avec le soutien de France Hadron (projet ProtoBeamline), et du LabEx PRIMES.

Dans un avenir proche nous avons planifié:

- une expérience au synchrotron de l'ESRF. L'exploitation d'un faisceau micro-focalisé et pulsé, constitué de paquets de photons de 9 keV permettra :
  - la caractérisation de la réponse du détecteur et de son électronique (test de différents préamplificateurs et du système d'acquisition)
  - l'étude de l'uniformité de la réponse des diamants polycristallins, corrélée avec localisation des défauts et de leurs effets sur les performances du détecteur;
- une expérience au GANIL avec des ions carbone;
- la réalisation d'un démonstrateur de taille réduite (4x4 cm<sup>2</sup> par exemple) avec son électronique de lecture intégrée.